

激光物理 ·

弱激光提高生物酶活性的一种物理模型

贺庆丽^{1,2}, 贺 健², 张镇西¹

1. 西安交通大学, 生物医学信息工程教育部重点实验室, 生命科学与技术学院, 生物医学工程研究所, 西安 710049;
2. 西北大学物理系, 西安 710069

摘要: 基于激光血管内照射对生物酶活性的提高, 用一维谐振子模型, 根据谐振子振动规律、有周期性策动力作用下的振动规律、以及量子力学中的能级跃迁规律, 讨论了弱激光对生物酶活性提高的物理机制; 给出了激光血管内照射疗法的波长范围; 由此说明了为什么激光血管内照射时, 虽然绿光的光子能量比红光大, 但红光比绿光更有效。

关键词: 弱激光; 血管内照射; 谐振子模型

中图分类号: R318.51

文献标识码: A

文章编号: 0253-2743(2004)04-0053-02

A physics model of biology enzyme activity rising by low level laser

HE Qing-li^{1,2}, HE Jian², ZHANG Zhen-xi¹

1. The Key Laboratory of Biomedical Information Engineering of Ministry of Education, and Biomedical Engineering Institute, School of Life Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China
2. Physics Department of Northwest University, Xi'an 710069, China

Abstract: Based on the raising of biology enzyme activity by intravascular laser irradiation on blood (ILIB), a kind of physics mechanism has been discussed. This has been done via using one dimension harmonic vibration model; rely on the vibration law, the vibration law instigated by period force and the energy level transition law of quantum mechanics. The wave length range of ILIB has been given. Although the photons energy of green light is larger than red one, why the red light is more effective in ILIB has been explained.

Key words: low level laser; intravascular laser irradiation on blood; harmonic vibration model

1 引言

激光血管内照射 (ILIB) 治疗始于 80 年代, 现已广泛应用于临床, 对心脑血管疾病, 神经系统, 各科感染疾病, 脑炎疗效显著, 甚至对肿瘤的治疗也有效果, 有学者认为临床研究已初步证明, 这种方法可使血液中的蛋白质构象发生改变, 使机体产生一系列生物学效应^[1]; 但对其机制的研究尚不深入, 多为定性认识^[2]。本文用一维谐振子模型, 计算并讨论了 He-Ne 激光提高生物酶活性的机理, 以及 ILIB 疗法的波长范围。

2 模型的建立

2.1 问题的提出

从文献 [3] 可知, 激光血管内照射几个方面的生物学效应, 每一方面都与激活酶活性密不可分, 可以说提高酶活性是生物学效应的微观基础, 也就是激光血管内照射的微观基础。

酶是执行酶学功能的蛋白质, 氨基酸是蛋白质分子的基本单位。两个氨基酸分子结合在一起释放出一个水分子, 靠肽键结成一个长链, 组成了蛋白质的一维结构。

对于蛋白质来讲, 其活性和功能的能量供给主要由附着在蛋白质分子上的三磷酸腺苷 (ATP) 分子所发生的水解反应时所释放的能量, 但能量是如何传递到生物组织和细胞核内的 DNA, 引起肌肉的收缩和 DNA 的复制? 它是通过一个非平衡态过程而被使用, 还是通过平衡过程而转化为满足经典热力学关系? 一种可能的能量传递机制是, 这个能量可以转变为蛋白质分子内的振动激发。以此为基础, 可以建立蛋白质分子的振动模型。

2.2 模型建立

蛋白质分子并不是准一维的分子链, 而是由 α 螺旋, β 片, 球状等空间组态连成的复杂的三维结构。为了简单起见, 可以用适当的方法将其分成很多小段, 使每段可近似看成是准一维分子链。在此分子链上, 由于氨基酸分子的相似

性, 可以将其看作质量均为 m 的谐振子, 而把肽键看作是倔强系数为 k 的弹性振子。

设在某个时刻, 某一谐振子与相邻谐振子之间的位置如图 1 所示:

并假定某时刻从左到右三个谐振子距其平衡位置的位移依次为 x_1, x_2, x_3 , 则它们的运动方程为:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x_1}{dt^2} = -k(x_1 - x_2) \\ m \frac{d^2 x_2}{dt^2} = -k(x_2 - x_1) - k(x_2 - x_3) \\ m \frac{d^2 x_3}{dt^2} = -k(x_3 - x_2) \end{cases} \quad (1)$$

设 x_i 具有复数形式

$$x_i = A_i e^{i\omega t} \quad (i = 1, 2, 3)$$

代入方程 (1), 并且注意到, 求导算符 $\frac{d^2}{dt^2}$ 相当于 $(i\omega)^2 = -\omega^2$, 消去公共因子 $e^{i\omega t}$, 经移项并整理, 得 A_i 的线性齐次联立代数方程组

$$\begin{cases} (\omega^2 - \frac{k}{m})A_1 + \frac{k}{m}A_2 = 0 \\ \frac{k}{m}A_1 + (\omega^2 - \frac{2k}{m})A_2 + \frac{k}{m}A_3 = 0 \\ \frac{k}{m}A_2 + (\omega^2 - \frac{k}{m})A_3 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

由方程 (2) 有解的条件可以得到谐振子振动的圆频率 ω 为

$$\omega_1^2 = \frac{k}{m}, \omega_2^2 = \frac{3k}{m}, \omega_3^2 = 0.$$

也就是说, 谐振子的振动有三种模式。将三个 ω 分别代入方程 (2), 则得到每个运动模式振幅之间的比例关系

$$\begin{cases} \text{对于 } \omega_1: A_1 = -A_3, A_2 = 0 \\ \text{对于 } \omega_2: A_1 = A_3 = -\frac{1}{2}A_2 \\ \text{对于 } \omega_3: A_1 = A_2 = A_3 \end{cases} \quad (3)$$

由此可见, 对于 ω_1 代表的振动模式, 中间谐振子不动, 而两侧谐振子相对运动; 对于 ω_2 代表的振动模式, 两侧谐振子相对静止, 它们整体与中央振子作相对运动; 对于 ω_3 代表

收稿日期: 2004-01-11

基金项目: 陕西省自然科学基金项目 (02A08)

的振动模式,则是整个分子的刚性平动,并非内部的振动模式。如图 2 所示模式 1。这里讨论的是中央分子的运动,只能是模式 2,中央谐振子以频率 $\omega = \sqrt{\frac{3k}{m}}$ 作简谐振动,根据量子力学计算结果,该谐振子能级可表示为:

$$E_n = (n + \frac{1}{2}) \hbar \omega \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

相邻能级间隔为 $\Delta E = \hbar \omega$ 。

假设 ω_L, ω_b 分别为激光频率以及在双键作用下谐振子的振动频率,由上面的讨论可知

$$\omega_b = \sqrt{\frac{3k}{m}}$$

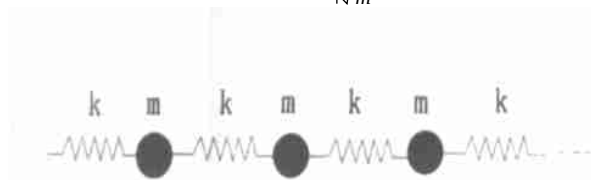


图 1 相邻谐振子的位置

$$\hbar \omega_L \approx \hbar \omega_b = 1.94 \text{ eV} \approx \sqrt{3}$$

即 $\omega_L = \sqrt{3} \omega_b$ (5)

也就是说,这种情况下,激光频率与双键作用下的振动频率相同。

3 对模型的讨论

根据上面的结果,我们可以作如下讨论:

3.1 从振动的观点看

(1) 如果是 He - Ne 激光入射,由于有 $\omega_L = \omega_b$,所以对于氨基酸分子的实际振动,策动力频率等于固有频率,发生共振现象,此时,氨基酸分子振动振幅达到最大。

(2) 由于氨基酸分子、肽键的差异,也有可能 $\omega_L > \omega_b$,此时氨基酸分子不是以固有频率振动,而是以策动力频率振动,振动频率增强。

(3) 若 $\omega_L < \omega_b$,此时氨基酸分子以固有频率振动,但策动力到来时,振动加强一次,而后又回到固有频率,频率依然是加强的。

综上所述,当有弱激光照射时,氨基酸分子的振动有的振幅达到最大,有的频率增强,这样酶的活性就会得以显著提高。

3.2 从能级跃迁观点看

当氨基酸分子振动时,由于病变导致活性降低,一般都处于能级较低的状态。从计算结果可以看出,其能级之间间隔 $\Delta E = \hbar \omega_b$,而 $\omega_L = \omega_b$, $\hbar \omega_L = \hbar \omega_b$,根据能级跃迁规律,当吸收一个光子时,如果原来氨基酸分子处在基态,就会跃迁到第一激发态;若原来在第一激发态,则会跃迁到第二激发态……总之,会向上跃迁一个能级。由于每个能级向上跃迁一个能级,原来“冻结”在较低能级的氨基酸分子能级提高,因此氨基酸分子活性得以提高。

4 提高酶活性的波长范围

在讨论此问题之前,让我们先看两个事实。第一,文献

④采用动物实验比较了五种激光波长血管内照射对小鼠血清 NO β 内啡肽 (β -End) 含量及 No 合成酶 Nos 活性的影响,结果表明 532nm 和 632.8nm 激光能显著提高血清 No 含量,532nm,632.8nm 及 650nm 激光均能显著增加血清 Nos 活性,而血清 β -End 对 532nm 激光最敏感,842nm 和 1300nm 激光对上述三指标均无明显影响。从该结果看,似乎绿色激光辐

而在单键作用下,根据振动规律有:

$$F = -kx \quad F = m \ddot{x}$$

$$\text{即 } \ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0 \text{ 得到}$$

$$\omega_b = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

ω_b 是单键作用下谐振子的振动频率,所以

$$\omega_b = \sqrt{3} \omega_L \quad (4)$$

从文献 ④我们知道肽键能为 84~125 kJ/mol, He - Ne 激光光子能量为 1.94eV。为了取平均值附近又利于计算,我们取键能为 108 kJ/mol,单个键能 1.125 (eV),所以

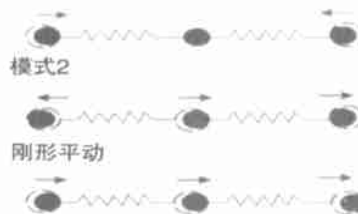


图 2 几种振动模式

照血液后更有裨益,结果却大相径庭。

第二,有人提出一种理论,认为红细胞在激光辐照下,葡萄糖酵解的中间产物,如 1,6——二磷酸果糖吸收 He - Ne 激光光子可能打断其中间链,形成磷酸二羟丙酮和三磷酸甘油醛,因打断此链只需不到 1eV 能量,而 He - Ne 激光光子能量为 1.94eV,因而激光光子代替酶使葡萄糖酵解得以顺利进行。因为绿色激光光子的能量比红色激光光子更高,照理应更容易打断某些分子链,但实验表明绿光光子比红光光子效果相差甚远。

为了解决上述的“红绿光困难”,我们设想,只有当激光波长位于某个范围内,才有明显的医疗作用,而红光波长在此范围内,绿光波长不在此范围内。下面来讨论这个范围:

当键能为 84 kJ/mol 时,根据 $v = c/\lambda$, $E_L = h\nu$ 及 $\omega_L = \sqrt{3}\omega_b$

解得 $\lambda = 820.3 \text{ nm}$

同理,当键能为 125 kJ/mol 时,可求得

$$\lambda = 551.2 \text{ nm}$$

可见,只有当入射激光的波长位于 551.2nm 到 820.3nm 之间时,才有明显的医疗效果,红光波长范围为 630nm 到 760nm,绿光波长范围为 500nm 到 570nm,可见红光完全在此范围之内,绿光只有一小部分位于此范围内,这就可以解释所谓“红绿光困难”。

5 结论

弱激光血管内照射医疗机理在于对生物酶活性的提高,而生物酶活性的提高在于弱激光引起氨基酸分子的共振和频率加强以及引起氨基酸分子从低一级向上一级的跃迁。只有当激光光子波长位于 551.2nm 到 820.3nm 之间时,才有明显医疗作用。

参考文献

- ① 周凌云,段良和. 弱激光改善血液携氧功能机制分析及临床研究 [J]. 光子学报,1999,28(3):20-22.
- ② 周孝南,耿照连. 激光辐射血液疗法和激光磁化血液疗法 [J]. 激光生物学报,2001,10(2):156-158.
- ③ 庞少峰. 生物体吸收的红外光的非热生物效应的研究. 物理,2001,30(9):525-532.
- ④ 颜晨钟,樊大平,赵晓宁等. 五种激光波长激光血管内照射疗法的生物效应 [J]. 应用激光,1999,18(2):86-88.
- ⑤ 徐伟山,刘志钧. 关于弱激光的生物刺激效应应用的一些新进展 [J]. 激光杂志,1999,20(2):78-80.